

KOMPUTASI PARAMETER ADAPTIF FUZZY CONTROLLER PADA SISTEM PENGERING KAYU

Zakarias Situmorang

Fakultas Ilmu Komputer Universitas Katolik Santo Thomas SU Medan
Jl. Setiabudi No. 479-F Tanjungsari Medan 20132

Email : zakarias65@yahoo.com

Abstrak

Komputasi terhadap parameter kontrol menjadi penting dilakukan sesuai hasil pengukuran pada sebuah prototipe sistem pengering kayu, dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih riil. Parameter yang dianalisis berkaitan dengan penerapan adaptif fuzzy controller (AFC) pada prototipe alat pengering kayu tenaga panas surya, yaitu berupa besaran control priode sistem untuk perlakuan yang berbeda-beda dari aktuatur. AFC di implementasikan dengan mekanisme adaptasi yang diarahkan bekerja pada sistem ketika terjadi perubahan humiditi drying dari sebuah jadwal pengeringan kayu sengon, tetapi dengan kondisi temperatur drying yang tetap. Mekanisme ini membandingkan model reference dan situasi riil ruang pengering sesuai kondisi cuaca untuk mendapatkan kondisi yang diinginkan. Hasil implementasi disajikan dalam bentuk look-up table dari perlakuan aktuatur pada rule AFC.

Kata kunci: *Adaptif fuzzy controller, Mekanisme adaptasi, look-up table.*

1. PENDAHULUAN

Data percobaan diperoleh dari hasil uji coba yang dilakukan pada kondisi plant yang tercatat, yaitu skedul pengeringan dan hasil pengukuran. Permasalahannya adalah menerapkan *Adaptive fuzzy logic controller* dengan pendekatan kondisi plant yang sama untuk mendapatkan perlakuan aktuatur yang sama untuk memenuhi kondisi skedul pengeringan yang diinginkan. Fuzzy model dapat didesain berdasarkan pendekatan atau hubungan yang saling mempengaruhi pada sistem yang kompleks dan pendekatan ini dilakukan pada sistem control, expert sistem, dan analisa keputusan. Desain model fuzzy pada sistem yang kompleks sebagai sebuah pendekatan pada sistem kontrol, yaitu relasi hubungan antara domain input dan output, melalui nilai *membership function*.

Penalaran akan implementasi *adaptive fuzzy logic controller* pada ruang pengering kayu tenaga panas surya akan memberikan alasan yang kuat atas pendekatan yang dilakukan berdasarkan validasi terhadap data pengukuran. Dari hasil analisa diperoleh bahwa pendekatan melalui metode try and error terhadap parameter kondisi plant akan memberikan hasil bahwa *adaptive fuzzy logic Controller* dapat diimplementasikan pada prototipe sistem proses pengeringan kayu tenaga surya.

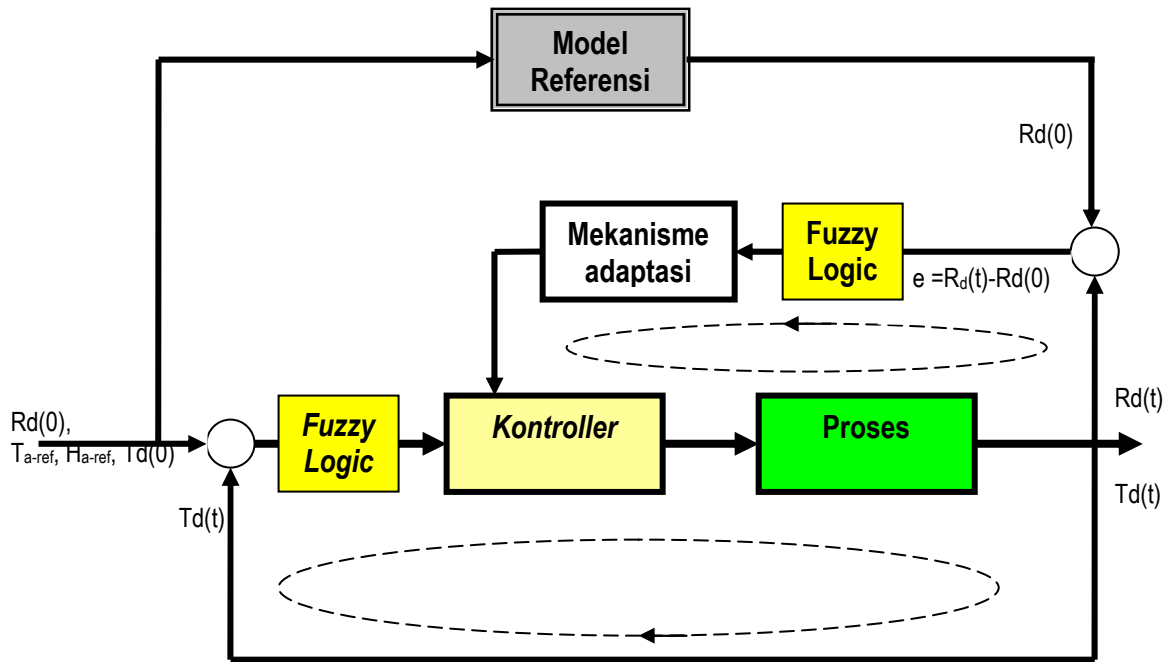
Cara yang dilakukan adalah memodifikasi nilai *membership function* pada range [0.5, 1], dengan alasan memberikan nilai kontribusi setiap parameter terhadap keputusan melalui hasil komputasi, dengan fungsi fuzzy set berbentuk segitiga dan trapesium. Metode ini akan didesain untuk sistem pengering kayu tenaga panas surya. Dari hasil simulasi akan diperoleh perbandingannya dengan tanpa penambahan nilai *membership function*.

Adapun acuan kerja dari *adaptive fuzzy controller* ini yang akan diterapkan adalah sistem kerja alat pengering kayu tenaga panas surya ini adalah bahwa energi radiasi matahari dikumpulkan menjadi energi panas oleh kolektor surya. Selanjutnya dengan bantuan kipas, udara panas dari kolektor dialirkan ke ruang pengering. Pengondisian ruang pengering pada temperature ruang pengering yang tetap tetapi perubahan kelembaban tertentu merupakan daerah kerjanya AFC, dimana apabila temperatur ruang pengering kurang diperlukan tambahan energi panas, yaitu dari heater, dan bila kelebihan panas maka dilakukan pembuangan energi melalui damper/ventilasi, tetapi dengan harapan perubahan kelembaban dapat dipenuhi. Untuk kekurangan kelembaban maka uap air dari sprayer disemprotkan dan bila kelebihan kelembaban dapat dilakukan pembuangan melalui damper dan atau pemanasan *heater*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Adaptive Fuzzy Controller* Pada Pengering Kayu tenaga Panas Surya

Pada sistem pengering tenaga surya ini digunakan mekanisme kontrol dari adaptif controller, adalah memanfaatkan logika fuzzy, penggunaannya dilakukan pada kondisi *set point* temperatur tetap tetapi *set point* humiditi yang berubah. Proses menurunkan Humiditi chamber menggunakan Algoritma AFC, berdasarkan persamaan dinamika kelembaban relatif ruang pengering.



Gambar 1. Mekanisme kontrol dari adaptif fuzzy controller

$$\frac{dR_d}{dt} = a_{21}T_d + a_{22}R_d + b_{22}u_2 + b_{23}u_3 \quad (1)$$

$$a_{21} = -\frac{a_g AP_{sd0}}{V\rho}; \quad a_{22} = -\frac{b_g AP_{sd0}(1-R_{d0})}{V\rho} \approx 0; \quad b_{22} = \frac{1}{V\rho} \approx 0; \quad b_{23} = -\frac{1}{V\rho C_d} \approx 0$$

$u_2 = m_s$ dan $u_3 = Q_d$

$$\frac{dR_d}{dt} \approx a_{21}T_d \quad (2)$$

Untuk penyederhanaan pada persamaan (1), bahwa besaran a_{22} , b_{22} , dan b_{23} sangat cukup kecil pengaruhnya terhadap perubahan humiditi *drying*, sehingga diperoleh persamaan (2). Dari persamaan (2) akan didapat bahwa perubahan humiditi bernilai negatif sangat tergantung pada temperatur *drying* T_d dengan **faktor** a_{21} . Sehingga syarat adaptif fuzzy controller bekerja pada sistem pengering kayu tenaga panas surya ini adalah *kondisi set point* temperatur *drying* T_{d0} tetap, tetapi *set point* humiditi *drying* yang berubah. Adapun untuk Jadwal pengeringan kayu jenis kayu Sengon, *adaptif Fuzzy controller* digunakan pada step 3 dan step 4, sesuai tabel 1.

Tabel 1. Jadwal Pengeringan kayu Sengon

No.	T_{d0} °C	R_{d0} %	MC (%)	t (jam)	I_0 (W/m ²)	Kondisi Cuaca (T_{a-ref})			Keadaan Udara (H_{a-ref})			Duty Cycle (menit)
						Min	Rata ²	Maks	Min	Rata ²	Maks	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	45	60	25.5 - 50	24	561.0	29.1	30.1	31.1	52	60	68	100'
2	50	55	10.4 - 25.5	24	662.0	29.7	30.7	31.7	46	54	62	28'
3	55	50	7.8 - 10.4	12	763.0	30.5	31.5	32.5	40	48	56	24'
		45	7.3 - 7.8	12								
4	60	40	6.7 - 7.3	18	617.5	29.4	30.4	31.4	50	58	66	30'
		35	6.4 - 6.7	6								
5	65(F)	60	6.3 - 6.4	2	535.0	28.9	29.9	30.9	54	62	70	36'
6	30	60	< 6.3	2	Proses Equalizing							

Red : daerah kerja adaptive Fuzzy Controller

Rule control yang digunakan sesuai persamaan (3)

$$\text{IF } u_{1i} \text{ is } F_{1i} \text{ AND } u_{2i} \text{ is } F_{2i} \text{ AND AND } u_{Ni} \text{ is } F_{Ni} \text{ THEN } y \text{ is } Y_i \quad (3)$$

dimana u : masukan *controller*, y : keluaran *controller*, F_{ki} : *membership functions* dalam kurva Gaussian dan Y_i : keluaran singleton, berdasarkan table 9,. Rule kontrol AFC.

2.2 Desain Membership Function (Fuzzifikasi)

Pada sistem pengontrolan pengering surya ini yang menjadi variabel pengamatan adalah kelembaban udara chamber H_C dan temperature chamber T_C . Maka untuk membentuk *membership function* dibentuk dari crisp input dan crisp output. Crisp input yang digunakan adalah perubahan variabel yang dikontrol yaitu temperatur. Maka sesuai dengan tujuan dari pengontrolan ini yang menjadi variabel pengamatan adalah kelembaban udara chamber H_d dan temperatur chamber T_d . *Membership function* dibentuk dari crisp input dan crisp output. Crisp input yang digunakan adalah *error* e_x dan *change in error* ce_x , dimana x adalah kedua variabel yang dikontrol yaitu kelembaban dan temperatur. Sebagai crisp output digunakan operasi *valve type on/off* dari *heater*, *dampner* dan *sprayer*.

Untuk menentukan *membership function* dari *error* dan perubahan *error* digunakan persamaan (4), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} e_x &= \text{input} - \text{set point} \\ \text{dan} \\ ce_x &= \text{error} - \text{error sebelumnya} \end{aligned} \quad (4)$$

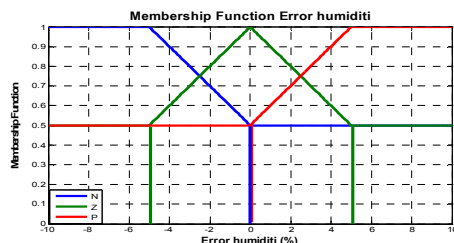
Mekanisme pengontrolan dilakukan dengan menambah nilai *membership function* dengan tujuan mengurangi nilai ketidakpastian. Cara yang dilakukan adalah memodifikasi nilai *membership function* pada range [0.5, 1], dengan alasan memberikan nilai kontribusi setiap parameter terhadap keputusan melalui hasil komputasi, dengan fungsi fuzzy set berbentuk segitiga dan trapesium. Dengan demikian setiap parameter dari *error* dan *change in error* mempunyai nilai *membership function* minimal 0,5.

Komputasi dilakukan berdasarkan data pengukuran yang diperoleh, selanjutnya diperoleh *membership function* setiap parameter dalam range [0.5, 1]. Untuk selanjutnya sesuai rule yang ditentukan dihitung nilai strength setiap labelisasi untuk mendapatkan defuzzifikasi waktu pemberian energi dan penyemprotan berdasarkan nilai step respon riil.

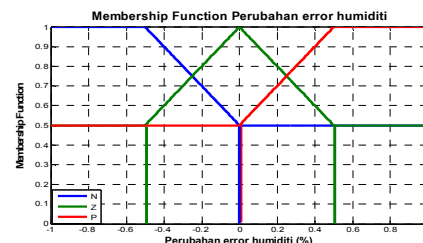
2.3 Model Referensi

Bertujuan untuk menentukan *valve* dalam keadaan *ON* berdasarkan pengukuran dan pengamatan variabel humiditi chamber R_d . Data pengukuran yang diperlukan adalah humiditi *drying* waktu-1(R_{d1}) dan humiditi *drying* waktu -2 (R_{d2}). Untuk variabel pengamatan diperlukan juga temperatur chamber T_d . *Membership function* dibentuk dari crisp input dan crisp output. Crisp input yang digunakan adalah *error* e_{R_d} dan *change in error* ce_{R_d} , dimana R_d adalah variabel yang dikontrol yaitu kelembaban. Sebagai crisp output digunakan operasi *valve type on/off* dari *heater*, *dampner* dan *sprayer*.

Labelisasi *membership function* untuk *error humiditi chamber* terhadap *set point* humiditi chamber dinyatakan oleh gambar 2. dan perubahan *error*nya pada gambar 3. Labelisasi : N : Negatif; Z : Zero; P : Positif



Gambar 2. Membership Function error e_{R_d}



Gambar 3. Membership Function Perubahan error ce_{R_d}

2.4 Defuzzifikasi berdasarkan Humidity Chamber R_{d_n}

Fuzzy inferensi merupakan rule basis pengetahuan yang memberikan implikasi IF.... THEN.... sesuai tabel 2 *base knowledge membership function*. untuk humiditi *drying*.

Tabel 2. Base knowledge membership function humidity.

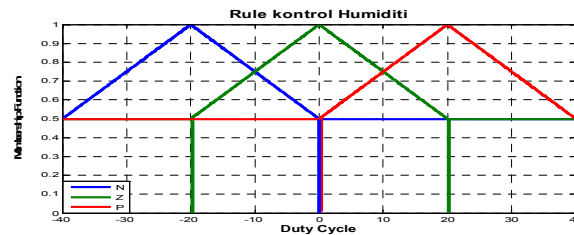
$\begin{matrix} e \\ \swarrow \\ ce \end{matrix}$	N	Z	P
N	<i>Sprayer</i>	<i>Damper</i>	<i>Heater</i>
Z	<i>Sprayer</i>	-	<i>Heater</i>
P	<i>Damper</i>	<i>Heater</i>	<i>Heater</i>

Ada 9 Rule *membership function* dan untuk setiap keanggotaan menggunakan nilai maksimum dengan rumusan:

Strength *sprayer* = max(R_1, R_2)

Strength *damper* = max(R_3, R_4)

Strength *heater* = max(R_6, R_7, R_8, R_9)



Gambar 4. Defuzzifikasi Control Humiditi *Drying* Berdasarkan e dan ce

Metode yang dipilih untuk defuzzifikasi adalah perkalian dari luas area *membership function* dan pusat grafitasi masing-masing dibagi dengan jumlah dari luas area membership function (center of gravity) sesuai persamaan:

$$\text{Heater ..OR ...Damper ..OR ...Sprayer} = \frac{(CN * StrN) + (CZ * StrZ) + (CP * StrP)}{(StrN + (StrZ) + (StrP))}$$

$$Ce_{\text{Heater - Damper - Sprayer}} = \frac{(CenterP * StrengthP) + (CenterZ * StrengthZ) + (CenterN * StrengthN)}{(CenterP) + (CenterZ) + (CenterN)}$$

Pengaturan humiditi/kelembaban, berdasarkan periode control (cp), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menemukan kestabilan dari start sampai keadaan stabil dan merupakan nilai inialisasi periode. Maka untuk berapa lama dilakukan waktu perlakuan terhadap aktuator untuk pemanasan atau penyemprotan (humidifikasi), ditentukan dengan persamaan 5.

$$t_{\text{Heater-Damper-Sprayer}} = \frac{(eR_d + ceR_d)\%}{100} cp \quad (5)$$

dengan, eR_d : persentase *control priode Heat Time On* (HTO-heater/damper) atau *Sprayer Time On* (STO-sprayer) atau duty cycle.

ceR_d : nilai *membership function* rule kontrol HTO atau STO (cHTO atau cSTO).

$t_{\text{Heater-Damper-Sprayer}}$: waktu untuk pemanas atau pendinginan

cp : *control priode*, diperoleh dari *step respon chamber*, untuk pemanas atau humidifikasi

3. METODE PENELITIAN

3.1 Proses Mekanisma Adaptasi

Mekanisme adaptasi merupakan suatu proses mengadaptasi keadaan sekitarnya, secara khusus buat variabel temperatur ambient mewakili keadaan cuaca, dan humiditi ambient untuk mewakili kondisi cuaca.

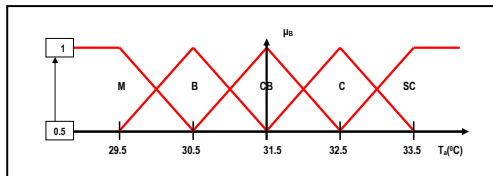
a. Keadaan Cauca : (temperatur ambient)

Data yang diperlukan adalah

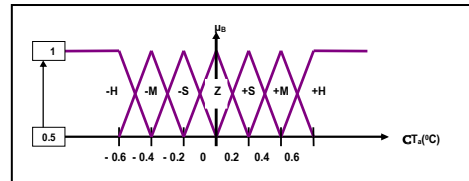
Temperatur <i>drying</i> awal	: $T_{d_{awal}}$	Humiditi <i>drying</i> awal	: $R_{d_{awal}}$
Temperatur <i>drying</i> -1	: T_{d_1}	Temperatur <i>drying</i> -2	: T_{d_2}
Humidity <i>drying</i> -1	: R_{d_1}	Humidity <i>drying</i> -2	: R_{d_2}
Temperatur ambient	: T_a	Humidity Ambient	: H_a

Membership Function untuk Temperatur Ambient T_a [$T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$]

Labelisasi : M : Mendung; B : Berawan; CB : Cerah Berawan; C : Cerah; SC : Sangat Cerah
-H : - High; -M : - Medium; -S : -Small; Z: Zero ; +S : + Small; +M : +Medium; +H : +High



Gambar. 5. Membership Function T_d utk $T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$



Gambar.6. Membership Function CT_a utk $T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$

Fuzzifikasi : Membership function untuk perubahan cuaca (perubahan temperatur ambient CT_a)

Dalam menentukan keadaan cuaca berdasarkan temperatur ambient dan perubahannya menggunakan nilai membership function yang paling maksimum dari setiap keanggotaan, sesuai tabel 3.

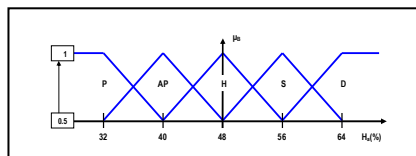
Tabel 3. Label Membership Function temperatur ambient untuk $T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$

$CT_a \backslash T_a$	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
-H	Mendung	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah
-M	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
-S	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
Z	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
+S	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
+M	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
+H	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah	Sangat Cerah

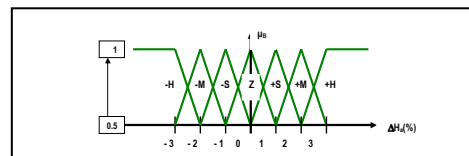
b. Kondisi Udara (Humiditi Ambient)

Fuzzyfikasi Membership Function untuk kondisi udara [Humiditi Ambient H_a] [$T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$]

Labelisasi : P : Panas; AP : Agak Panas; H : Hangat; S : Sejuk; D : Dingin



Gambar.7. Membership Function h_a utk $T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$



Gambar. 8. Membership Function CH_a utk $T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$

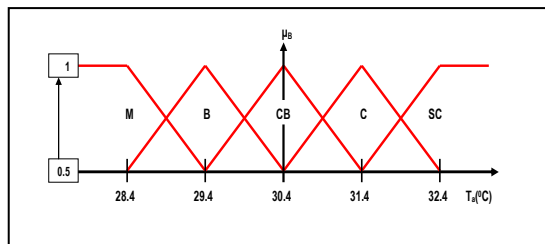
Fuzzyfikasi membership function untuk perubahan kondisi udara [change humiditi ambient CH_a] dengan Labelisasi : -H : - High; -M : - Medium; -S : -Small; Z: Zero ; +S : + Small; +M : +Medium; +H : +High

Dalam menentukan kondisi udara berdasarkan humiditi ambient dan perubahannya menggunakan nilai membership function yang paling maksimum untuk setiap keanggotaan, sesuai tabel 4.

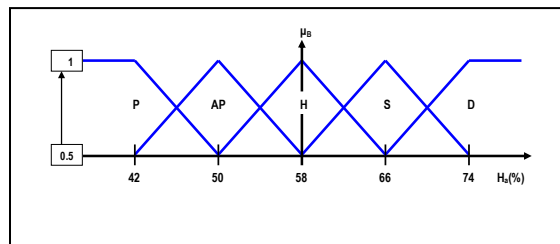
Tabel 4. Label Membership Function Humiditi ambient untuk $T_{d0}=55^{\circ}\text{C}$

$\Delta T_a \backslash T_a$	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk	Dingin
-H	Panas	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk
-M	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk	Dingin
-S	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk	Dingin
Z	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk	Dingin
+S	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk	Dingin
+M	Panas	Agak Panas	Hangat	Sejuk	Dingin
+H	Agak Panas	Hangat	Hangat	Dingin	Dingin

Fuzzifikasi membership function untuk temperatur ambient T_a [$T_{d0}=60^0C$] dan labelisasi : M : Mendung; B : Berawan; CB : Cerah Berawan; C : Cerah; SC : Sangat Cerah



Gambar. 9. Membership Function T_a utk $T_{d0}=60^0C$



Gambar. 10. Membership Function H_a utk $T_{d0}=60^0C$

Membership function untuk perubahan cuaca (perubahan temperatur ambient CT_a) menggunakan gambar 6., sehingga labelisasi membership function temperatur ambient untuk $T_{d0}=60^0C$ menggunakan **tabel 3**.

Fuzzifikasi membership function untuk humiditi ambient H_a [$T_{d0}=60^0C$] dan Labelisasi : P : Panas; AP : Agak Panas; H : Hangat; S : Sejuk; D : Dingin

Membership function untuk perubahan kondisi udara (perubahan humiditi ambient CH_a) menggunakan gambar 8., sehingga labelisasi membership function humiditi ambient untuk $T_{d0}=60^0C$ menggunakan **tabel 4**. Dan dalam menentukan kondisi udara berdasarkan humiditi ambient dan berubahannya menggunakan nilai membership function yang paling maksimum.

Defuzzifikasi Mekanisme Adaptasi

Defuzzifikasi untuk adaptasi keadaan cuaca dan kondisi udara berpedoman pada tabel 5.

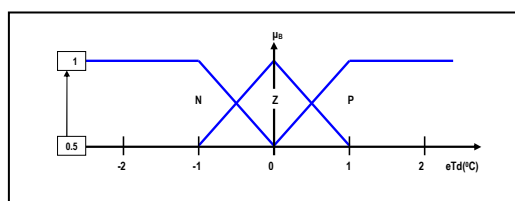
Tabel 5 Rule control Adaptasi Keadaan Cuaca dan Kondisi Udara.

T_a / H_a	Mendung	Berawan	Cerah Berawan	Cerah	Sangat Cerah
Panas	Surya	H_2	D_3	D_2	D_1
Agak Panas	H_2	Surya	H_2	D_3	D_2
Hangat	H_1	H_2	Surya	H_2	D_3
Sejuk	H	H_1	H_2	Surya	H_2
Dingin	H	H	H_1	H_2	Surya

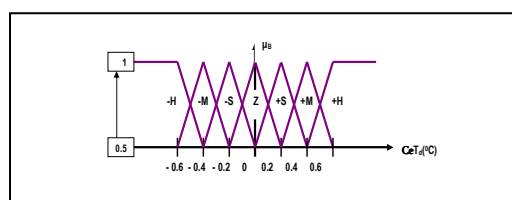
Keterangan: D_1 : Damper ON selama : 15 menit H : Heater ON selama : 15 menit
 D_2 : Damper ON selama : 10 menit H_1 : Heater ON selama : 10 menit
 D_3 : Damper ON selama : 5 menit H_2 : Heater ON selama : 5 menit
 Surya : Penggunaan energi surya seluruhnya.

c. Keadaan Chamber

Keadaan chamber diwakili oleh temperatur drying (T_d) dan humiditi drying selanjutnya akan dilakukan fuzzifikasi. **Membership function untuk error temperatur drying : eT_d dengan labelisasi : P : Positif; Z : Zero; N : Negatif**



Gambar.11. Membership Function Error Temperatur Drying



Gambar. 12. Membership Function CeT_d

Membership Function untuk Perubahan Error Temperatur Drying

Labelisasi : -H : - High; -M : - Medium; -S : -Small; Z: Zero; +S : + Small; +M : +Medium; +H : +High dan menentukan labelisasi dari temperatur drying dan berubahannya menggunakan nilai membership function yang paling maksimum dari setiap keanggotaan, sesuai tabel 6.

Tabel 6. Label Membership Function Temperatur Drying

CT_d \ T_d	N	Z	P
-H	Negatif	Negatif	Zero
-M	Negatif	Negatif	Zero
-S	Negatif	Negatif	Zero
Z	Negatif	Zero	Zero
+S	Negatif	Zero	Positif
+M	Negatif	Zero	Positif
+H	Negatif	Zero	Positif

Sehingga Rule control Adaptif Fuzzy Controller yang dinyatakan pada persamaan :

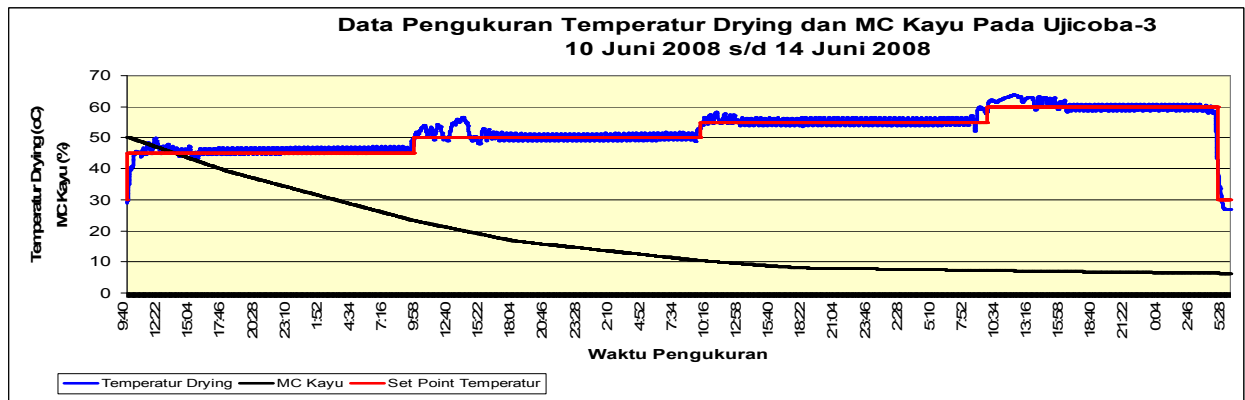
IF valve on is AND Mekanisme Adaptasi is AND Temp.Drying is THEN Aktuator ON is

4. HASIL PENGUKURAN DAN IMPLEMENTASI

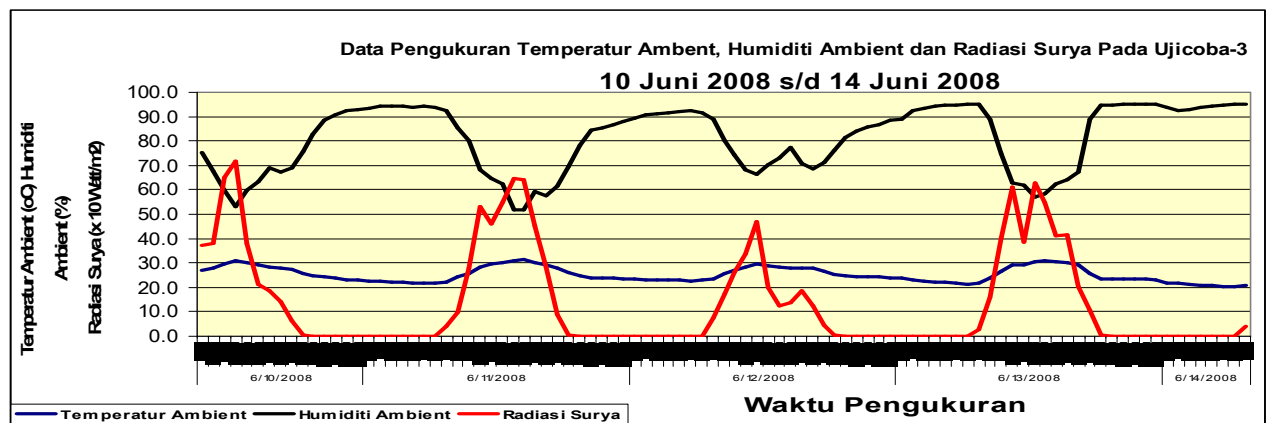
4.1 Hasil Pengukuran

Uji coba telah dilakukan 3 kali, data dicatat sedemikian rupa sehingga diperoleh data meteorologi berupa intensitas cahaya surya, temperatur ambient dan kelembaban udara yang disesuaikan dengan data pengering kayu. Hasil pengukuran disajikan sebagai berikut :

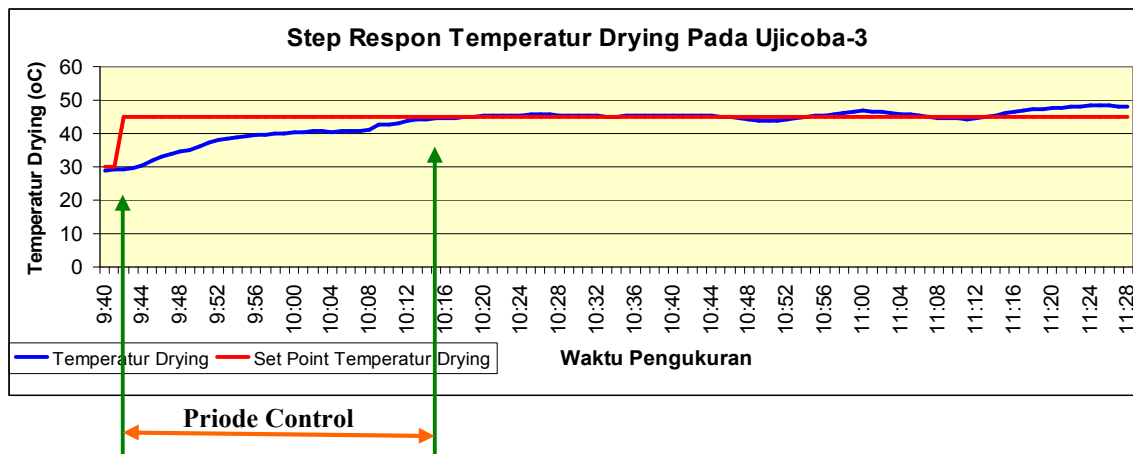
Jenis kayu : Kayu Sengon
Ukuran kayu : 4 x 6 cm
Jumlah : 22 batang
Dimulai : Selasa, 10 Juni 2008, Pukul : 09.40 Wib
Berakhir : Sabtu, 14 Juni 2008, Pukul : 06.00 Wib



Gambar. 13. Data Pengukuran Temperatur Drying dan MC Kayu Pada Uji Coba



Gambar. 14. Data Pengukuran Temperatur Ambient, Humiditi Ambient dan Radiasi Surya



Gambar. 15. *Step Respon Temperatur Drying Pada Uji Coba-3.*

Dari Gambar 13.. dan Gambar Uji coba-3 diperlihatkan bahwa dengan pengontrolan biasa akan sangat dipengaruhi oleh perubahan radiasi surya, yang mempengaruhi temperatur ambient dan humiditi ambient. Dari gambar 13 juga diperlihatkan laju penurunan kadar air kayu rata-rata 0.0079 %/menit. *Step respon* temperatur *drying* dengan *set point* dari temperatur drying 30°C ke 45°C diberikan pada gambar 15, dimana temperatur *set point* diperoleh setelah 38 menit, yaitu dari pukul : 09: 42 wib s/d 10:20 . dibawah pengaruh rata-rata radiasi surya sebesar : 375.2 Watt/m² dan *heater* dalam keadaan aktif (ON). Maka *priode control* untuk kenaikan temperatur drying dari 30°C sampai 45°C diperoleh:

$$cp_{surya} = \frac{(45 - 29.3)^{\circ}C}{(10:18 - 09:42)menit}$$

$$cp_{surya} = 0.4361^{\circ}C / menit \approx 0.44^{\circ}C / menit$$

Dengan radiasi surya rata-rata : 375.2 Watt/m² dan *heater* dalam keadaan aktif diperoleh kenaikan temperatur ruang pengering kayu selama 1 menit sebesar 0.44 °C.

Tabel. 6. Hasil Analisis Parameter

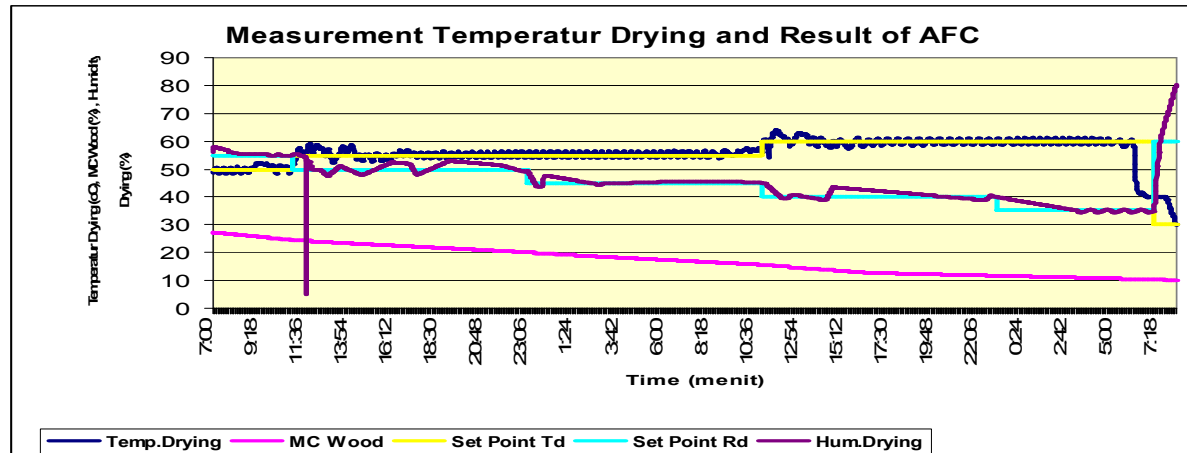
No.	Td ₀ (°C)	Hd ₀ (%)	MC (%)	T (Ja m)	I ₀ (Watt/ m ²)	Temp. Ambient Ta(°C)			Hum. Ambient Ha (°C)			Priode Control Cp (°C/menit)						
						Min	Rata	Mak	Min	Rata	Mak	Total Sury a	Hybri d damp e	Dam per	On Pintu	Spra yer	Surya I ₀ < 400 On Heater	On Heater
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	45	60	25.5 - 50	24	561.0	29.1	30.1	31.1	52	60	68	100'	0.24	-0.1	-0.2	-0.3	0.2365	0.225
2	50	55	10.4 – 25.5	24	662.0	29.7	30.7	31.7	46	54	62	28'						
3	55	50	7.8 – 10.4	12	763.0	30.5	31.5	32.5	40	48	56	24'						
		45	7.3 – 7.8	12														
4	60	40	6.7 – 7.3	18	617.5	29.4	30.4	31.4	50	58	66	30'						
		35	6.4 – 6.7	6														
5	65 (F)	60	6.3 - 6.4	2	535.0	28.9	29.9	30.9	54	62	70	36'						
6	30	60	< 6.3	2	Proses Conditioning													

Catatan :

- Untuk MC ≥ 25 %, (Td₀ = 45 s/d 55), maka radiasi surya $I_0 = 460 + 20.2(Td_0 - 40)$ (watt/m²)
- Untuk MC < 25 %, (Td₀ = 60 s/d 70), maka radiasi surya $I_0 = 700 - 16.5(Td_0 - 55)$ (watt/m²)
- Control Priode untuk sepenuhnya menggunakan radiasi surya $Cp = 0.1 + 0.0003(I_0 - 400)$ (°C/menit) dan F = Fakultatif

4.2 Implementasi Adaptive Fuzzy Controller

Implementasi *adaptive fuzzy controller* merupakan penggunaan hasil komputasi parameter dan hasil analisis yang diaplikasikan pada sistem kontrol pengeringan kayu sengon. Tujuannya untuk mendapatkan penggunaan AFC dibandingkan dengan keadaan riil, sesuai gambar 16.



Gambar. 16. Hasil Simulasi AFC untuk Jadwal Pengeringan Kayu Jenis Sengon

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa AFC mampu mengakomodir perubahan humiditi pada jadwal pengeringan tanpa perubahan temperatur drying, hal ini merupakan pengaturan sedemikian rupa agar temperatur dapat dikontrol melalui komputasi parameter-parameter control.

5. KESIMPULAN

Hasil pengukuran riil terhadap sebuah prototipe sistem pengering kayu dilakukan untuk data analisis parameter kontrol. Langkah ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih riil. Parameter yang diperoleh akan digunakan sebagai penerapan *adaptive fuzzy controller* pada prototipe alat pengering kayu tenaga panas surya. Parameter-parameter yang dianalisa diantaranya *control priode* sistem untuk perlakuan yang berbeda-beda aktuator.

Dari Hasil Pengukuran dianalisis statistik sedemikian rupa terutama untuk mendapatkan parameter-parameter ketika AFC yang di implementasikan dengan mekanisme adaptasi. Aplikasi AFC diarahkan bekerja pada sistem ketika terjadi perubahan himiditi *drying*, tetapi temperatur drying tetap pada suatu jadwal pengeringan kayu sengon. Telah dilakukan contoh perhitungan dalam mengaplikasikan penggunaan parameter-parameter control AFC ini pada sistem pengeringan kayu, dengan hasil menunjukkan bahwa nilai parameter hasil penalaran ini cukup signifikan mendekati keadaan riil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez-L.I., Orestes Llanes-Santiago, José Luis Verdegay, 2005., "Drying Process of tobacco leaves by using a fuzzy controller"., Fuzzy sets and systems, 150 (2005), 493 – 506, www.elsevier.com/locate/fss
- Buckley, J.J., 1997, "Universal Fuzzy Controllers", Automatica, 33, 1771-1773, Pergamon-Press.
- Dion, J.M., L.Dugard, A.Pranco, N.M. Tri, J.W.Horwood., 1991, "MIMO Adaptive Constrained Predictive Control Case Study : An Environmental Test Chamber", Automatica, 27, 611- 626, Pergamon-Press
- Haq, M.N., 2002, Modelling of Solar Kilns and The Development of An Optimised Schedule for Drying Hardwood Timber, Thesis Ph.D., Department of Chemical Engineering, University of Sydney., 354p.
- Joshi, C.B., B.D.Pradhan, and T.P.Pathak, 1999, Application of Solar Drying Systems in Rural Nepal, Research Center for Applied Science and Technology (RECAST) Tribhuvan University, Kathmandu Nepal.
- Kumagai Gumi Co, Ltd, 1996, "Solar Heat Timber Dry System Data Logging Panel and Sensor", Chino Corporation
- Larsson, R., 2003, Implementation of Adaptive Control Systems in Industrial Dry Kiln, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, page 397 – 400.
- Landau. I.D., 1990, "System Identification And Control Design", Prentice-Hall International, Inc, New-Jersey

- Laurenzi. W., V.Popa, Gh.Comsa, 2003, Computer Aided Design Of Drying Schedules In Order To Control The Drying Process, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, page 302 – 307.
- Mamdani, E.H., and Assilian, S. 1975., “*An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller*”, Int.J.Man mach. Studies, vol 7 no. 1., hal 1-13.
- Murat., K., and Adnan Yazici, 2005., “*A Fuzzy Knowledge-Based System for Intelligent Retrieval*”, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 13 No. 3, p. 317-330.
- Müller, J., 2007, Solar Drying Kilns for Wood, Thermo-System Industrie- und Trocknungstechnik GmbH, Germany, www.thermo-system.com, 23-11-2007
- Nogueira, A., et all, 2005, Simulation and control strategies for an energetically efficient wood drying process, EFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture, Vila Real Portugal, page 244 -251.
- Oliver. H., and Thomas Doersam, 1995., “*Process Automation using Adaptive Fuzzy Control*”, Proceedings of the 2nd New Zealand Two-Stream International Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems (ANNES’95) ©1995 IEEE
- Patrick P.K. L., and Natalie R.Spooner, 1995, “*Climatic control of a storage chamber using fuzzy logic*”, Proceedings of the 2nd New Zealand Two Stream International Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems (ANNES’95) © 1995 IEEE
- Pham.T.D., 2002., “*A New Approach for Calculating Implications of Fuzzy Rules*”, Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems (ICAIS’02)
- Ray. D.C., Neelesh Gataani., Enrique Del Castillo. And Paul Blankenhorn, 2005, Time Series Techniques for Dynamics: real time control of Wood-Drying Proceses, Forrest Products Journal, Vol 55., No. 10., pp. 64 - 71
- Bitmead.R.R., Mechel Gevers, Vincent Wertz, 1990, “*Adaptive Optimal Control*”, The Thinking Man’s GPC, Prentice-Hall International, Inc, New York.
- Sadati.N., Mahdi Bagherpour, and Rasoul Ghadami, 2005., “*Adaptive Multi-Model CMAC-Based Supervisory Control for Uncertain MIMO Systems*”, Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI’05) © IEEE
- Sánchez-S.S., R.Senhadjji, A.Cabrera, I.Baturone, C.J.Jiménez, A.Barriga, 2002., “*Prototyping of Fuzzy Logic-Based Controllers Using Standard FPGA Development Boards*”, Proceedings of the 13th IEEE International Workshop on Rapid system Prototyping (RSP’02)
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo., Sri Hartati., Jazi Eko Istiyanto, 2008b., . The Schedule of Optimal Fuzzy Controller Gain with Multi Model Concept for a Solar Energy Wood Drying Process Kiln, International Conference on Power Control And Optimization (PCO-2008), Chiangmai, Thailand, 18-20, July 2008.
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo., Sri Hartati., Jazi Eko Istiyanto, 2008c., . The Schedule of Optimal Fuzzy Controller Gain with Multi Model Concept for a Solar Energy Wood Drying Process Kiln, Proceeding published online by American Institut of Physics, October 2008.
- Skuratov. N.V., 2003, Computer Simulation and Dry Kiln Control, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, page 406 – 412
- Tang.K.S., Kim Funh Man, Guanrong Chen, and Sam Kwong, 2001., “*An Optimal Fuzzy PID Controller*”.’ IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vo. 48, N0. 4, pp. 757 – 765
- Tomescu. L.M., and Gheorghe Petrov, 2006, A Stability Analysis Method for Nonlinear System with Fuzzy Logic Contoller, Proceedings of the Eighth International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC’06) © IEEE Computer Society
- Wang. L.X., 1997, “*A Course in Fuzzy Systems And Control*”, Prentice-Hall International, Inc, New-Jersey
- Wang, X.G. Liu, W. Gu, L. Sun, C.J. Gu, C.E. de Silva, C.W., 2001, Development of An Intelligent Control System for wood drying proceeses , Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings. 2001 IEEE/ASME International Conference. Vol.I, page : 371 – 376.
- Widlak, H., Jerzy Majka, 2004, Investigation Of Relation Between Moisture Content Decrease and Water Mass Flow Removed From A Kiln, Electronic Journal Of Polish Agricultural niversities – Wood Technology Vol.7 Issue 2
- Zadeh, L.A, 1965, “Fuzzy Sets” *Information and Control*, vol.8, hal 338-353